

تأثیر طیف‌های نوری مختلف بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد فتوسنتزی چهار رقم حسن یوسف (*Solenostemon scutellarioides* L.)

داوود کاظمی^۱ و مریم دهستانی اردکانی^{۲*}

۱ و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر طیف‌های مختلف نوری بر رشد و ویژگی‌های فتوسنتزی چهار رقم گیاه حسن یوسف ("رد"، "بلک دراگون"، "ولوت رد" و "ایمپروود") آزمایشی درون شش اتاقک رشد مجهز به نور معمولی گلخانه (شاهد)، ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۵ درصد نور آبی+۸۵ درصد نور قرمز، ۳۰ درصد نور آبی+۷۰ درصد نور قرمز، ۱۵ درصد نور آبی+۶۵ درصد نور قرمز+۲۰ درصد نور سفید و ۳۰ درصد نور آبی+۵۰ درصد نور قرمز+۲۰ درصد نور سفید، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. پس از پنج هفته قرارگیری گیاهان تحت نورهای مختلف، پارامترهای بیوفیزیک فتوسنتزی و خصوصیات رشدی گیاهان بررسی شد. بیشترین میزان شاخص حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II و حداکثر فلورسانس متغیر نسبی (FM/F0) در تیمارهای ترکیبی ۳۰ درصد آبی+۷۰ درصد قرمز (رقم "رد")، شاهد (رقم‌های "بلک دراگون" و "ولوت رد") و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی+۵۰ درصد قرمز+۲۰ درصد سفید (رقم "ایمپروود") به دست آمد. میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC) در رقم "ایمپروود" با ۱۰۰ درصد نور آبی، ترکیبی از ۱۵ درصد آبی+۶۵ درصد قرمز+۲۰ درصد سفید و شاهد بیشتر از سایر تیمارها بود. از آنجا که PI_{ABS} می‌تواند به عنوان شاخص زندگی PSII استفاده شود، نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از آن است که تیمارهای شاهد ("ولوت رد")، ۳۰ درصد آبی+۷۰ درصد قرمز ("رد")، ۳۰ درصد آبی+۵۰ درصد قرمز+۲۰ درصد سفید (ارقام "بلک دراگون" و "ایمپروود")، تیمارهای مناسبی برای پشتیبانی از عملکرد طبیعی فتوسنتز بودند.

واژه‌های کلیدی: فلورسانس کلروفیل برگ، کیفیت نور، طیف نور، مورفولوژی.

Effect of different light spectra on growth characteristics and photosynthesis yield of four cultivars of coleus (*Solenostemon scutellarioides* L.)

Davood Kazemi¹ and Maryam Dehestani-Ardakani^{2*}

1, 2. M.Sc. Student and Associate Professor, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, P.O. Box 184, Ardakan, Iran

(Received: May 18, 2021- Accepted: Oct. 03, 2021)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of different light spectra on growth and photosynthetic properties of four cultivars ('Red', 'Black Dragon', 'Velvet Red' and 'Improd') of coleus, in six growth chambers equipped with normal greenhouse light (control), 100 % blue light, 15 % blue light+85 % red light, 30 % blue light+ 70 % red light, 15 % Blue light+65 % red light+20 % white light and 30 % blue light+50 % red light+20 % white light, a factorial experiment as a completely randomized design was done. After five weeks of exposure of plants to different lights, photosynthetic biophysical parameters and plant growth characteristics were investigated. The maximum quantum yield of PSII (F_v/F_m) and relative maximal variable fluorescence (F_m/F_0), significantly increased in combined treatments of 30 % blue+70 % red ('Red'), control (cultivars 'Black Dragon' and 'Velvet Red') and a combination of 30 % blue+50 % red+20 % white ('Improd' cultivar) was obtained. The specific energy fluxes per reaction center for energy absorption (ABS/RC) significantly increased in 'Improd' cultivar with 100 % blue light, a combination of 15% blue+65% red+20 % white and control treatments. Since PI_{ABS} can be used as an indicator of PSII life, the results of the present study indicate that the control treatments ('Velvet Red'), 30% blue+70 % red ('Red'), 30 % blue+50 % red+20 % white ('Black Dragon' and 'Improd') were suitable treatments to support the natural function of photosynthesis.

Keywords: Leaf chlorophyll fluorescence, light quality, light spectra, morphology.

* Corresponding author E-mail: mdehestani@ardakan.ac.ir

مقدمه

حسن یوسف (*Solenostemon scutellarioides* L.) از تیره Lamiaceae گیاهی دائمی با برگ‌های رنگی است و نیاز به نور کامل و غیر مستقیم برای رشد و نمو دارد (Anonymous, 2017). حسن یوسف از گیاهان درون‌خانه‌ای پر مصرف در صنعت گیاهان زینتی است که مرحله تولید نشاء آن از بذر نقش مهمی در کمیت و کیفیت نهایی محصول دارد. حسن یوسف به حداقل مقدار نور تجمعی روزانه ۹ مول بر مترمربع بر روز و حداکثر ۱۸ مول بر مترمربع بر روز نیاز دارد (Surducun *et al.*, 2019). تاکنون گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر مثبت افزایش مدت زمان حضور نور بر بهبود وضعیت رشد برخی از گیاهان زینتی ارائه شده است اما چگونگی تأثیر طیف‌های اختصاصی نور و سطح شدت نور بر چگونگی رشد رویشی نشای گیاهان زینتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Fukuda *et al.*, 2016). تولید سریع نشاء با کیفیت بالا از راه کنترل شرایط محیطی برای تولید کننده اهمیت دارد و از عوامل مهم موثر بر درآمد است. یکی از راه‌های موثر در تسریع رشد و بهبود کیفیت نشاء تامین کیفیت بهینه نور در محیط رشد گیاه است.

نور از عامل‌های محیطی تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان و یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی برای رشد و بقای گیاهان است که فرایندهایی همچون جوانه‌زنی بذر، رشد و عدم رشد هیپوکوتیل، توسعه کوتیلیدون، توسعه کلروپلاست و زمان تا گلدهی را تنظیم می‌کند (Molas *et al.*, 2006). تغییر در کیفیت نور به‌طور عمده بر پارامترهایی همچون آناتومی، فیزیولوژی، مورفولوژی و بیوشیمی گیاه تأثیرگذار است (Desimon *et al.*, 2000). پاسخ‌دهی گیاهان در برابر نور موجود در محیط رویش، به عملکرد رنگدانه‌های نورساختی (فتوسنتزی) و رنگدانه‌های گیرنده نور بستگی دارد و سطح فعالیت رنگدانه‌های یادشده در حضور طیف‌های مختلف نور، متفاوت از یکدیگر است (Franklin & Whitlam, 2005) و بیشترین تأثیر مربوط به حضور نورهای آبی و قرمز اعلام شده است که می‌تواند در رشد و سلامت گیاهان نقش مثبت ایفا کند (Nhut *et al.*, 2003). اکثر مطالعات انجام گرفته در مورد نور آبی اثر آن را بر کل گیاه، برگ و یا روزنه نسبت به شرایطی که نور آبی وجود ندارد، مورد

پژوهش قرار داده‌اند (Britz & Sager, 1990; Matsuda *et al.*, 2008) و یا رشد گیاهان را در شرایطی که در معرض نور قرمز، آبی و یا ترکیب این دو نور قرار گرفته‌اند بررسی کرده‌اند (Savvides *et al.*, 2012). نور آبی می‌تواند با تأخیر در پیر شدن گلبرگ از طریق تنظیم کاهش بیان ژن‌های بیوسنتز اتیلن و تنظیم ژن‌های بیوسنتز اسید آسبیزیک، یک عامل محیطی موثر برای افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه بریده میخک باشد (Aalifar *et al.*, 2020). یافته‌های پژوهش Seif *et al.* (2021) نشان داد که اندازه روزنه عمدتاً توسط طیف نور آبی کنترل می‌شود، در حالی که طیف وسیع‌تری برای تعیین تراکم روزنه مهم است. نور قرمز تک رنگ باعث افزایش توانایی روزنه‌ای در تنظیم اتلاف آب زمان قرار گرفتن در معرض تنش خشکی شد.

طی پژوهشی Dehkhodaei *et al.* (2019) گزارش کردند که با جایگزینی شرایط گلخانه با نور ال‌ای‌دی می‌توان نشاء حسن یوسف و اطلسی را با کیفیت بالاتری تولید کرد. آنها با بررسی کیفیت نور ال‌ای‌دی بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک دانه‌های حسن یوسف و اطلسی نشان دادند که سطح برگ، ارتفاع، طول میانگره، قطر ساقه، وزن تر شاخساره و فلورسانس کلروفیل برگ دانه‌های حسن یوسف در نور ۱۰۰ درصد سفید بیشتر از نور ترکیبی ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ ال‌ای‌دی و نور طبیعی گلخانه بود. همچنین، بیشترین دمای سطح برگ، میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید در تیمار شاهد و بیشترین تعداد برگ، وزن خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه در ترکیب نوری ۵۰ درصد آبی + ۵۰ درصد سرخ مشاهده شد. با بررسی تأثیر کیفیت (نسبت‌های نوری ۰ درصد آبی: ۱۰۰ درصد قرمز، ۱۵ درصد آبی: ۸۵ درصد قرمز، ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز و نور فلورسنت) و شدت نور (۴۰ و ۶۵ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) بر ویژگی‌های رویشی نشای اطلسی (*Petunia × hybrida* 'Super cascade' Blue)، مشخص شد که بیشترین وزن‌های تر و خشک برگسار و ریشه، سطح برگ، قطر ساقه با کاربرد نسبت نوری ۱۵ درصد آبی: ۸۵ درصد قرمز با شدت ۶۵ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه حاصل شد (Rashidi *et al.*, 2017). در پژوهشی تأثیر طیف‌های مختلف نوری

اطمینان از شرایط آغاز به رشد گیاهان، گلدان‌ها به اتاقک‌های رشد انتقال داده شدند و تحت تیمارهای مذکور قرار گرفتند. در طول دوره رشد درجه حرارت 5 ± 65 درصد و $23 \pm$ سانتی‌گراد، میزان رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دوره نوری ۱۵ ساعت روشنایی (۷ صبح تا ۱۰ شب) و ۹ ساعت تاریکی به‌طور منظم کنترل شدند. در اتاقک رشد از لامپ‌های ال‌ای‌دی قرمز (۶۶۵-۶۵۵ نانومتر)، آبی (۴۵۵-۴۵۰ نانومتر) و سفید استفاده شد. لامپ‌های ال‌ای‌دی روی صفحات پلکسی‌گلس نصب شدند و با کمک یونولیت اتاقک‌هایی (محفظه‌هایی) به ابعاد $150 \times 110 \times 100$ سانتی‌متر درون گلخانه ساخته شد. شدت نور برای هر اتاقک، در هر تیمار ال‌ای‌دی 75 ± 5 میکرومول بر مترمربع بر ثانیه در نظر گرفته شد و به کمک دستگاه پارمتر (مدل Apogee, MQ500, USA) تنظیم شد. برای ارزیابی هم‌زمان گیاهان در گلخانه (به‌عنوان شاهد و نور طبیعی با مقدار نور تجمعی روزانه 15 ± 5 مول بر مترمربع در روز، میانگین دما در طی شبانه روز 23 ± 5 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد (Data logger 8808 temp.+ RH) نیز کشت شدند. آبیاری گلدان‌ها به‌صورت روزانه انجام شد. در طول دوره نگهداری، گلدان‌ها یک مرتبه توسط اسید هیومیک کود آبیاری شدند. در پایان، پنج هفته پس از انتقال گیاهان به اتاقک‌های رشد، خصوصیات رشدی و فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شد. صفات مورد بررسی شامل شمارش تعداد شاخه جانبی و اندازه‌گیری ارتفاع گیاه با خط‌کش بود. قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مرتبط با فتوسنتز، خصوصیات فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلئورپن (FluorPen) ارزیابی شدند. برای این منظور ابتدا گیاهان درون هر اتاقک، با توجه به پروتکل دستگاه فلئورپن به‌مدت بیست دقیقه در تاریکی قرار گرفتند تا به این شرایط سازگار شوند. پس از سازگاری در تاریکی، برگ و ساقه آن بلافاصله برای اندازه‌گیری حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) بررسی شدند. اطلاعات ذخیره‌شده دستگاه در زمان اندازه‌گیری استخراج شده و با نرم افزار فلئورپن تجزیه و تحلیل گردید. تست OJIP (آنالیز لحظه‌ای القای

(آبی، تاریکی، سفید، قرمز، ترکیب آبی و قرمز) بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فتوسنتزی و عمر گلجایی گل شاخه بریده آنتوریوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان تغییر زاویه اسپات و کاهش سطح اسپات در دو رقم آنتوریوم ('Angel' با اسپات سفید و 'Calore' با اسپات قرمز رنگ) در نور قرمز در کمترین میزان مشاهده شد. عمر گلجایی تحت تاثیر برهمکنش رقم \times طیف نور قرار گرفت و در هر دو رقم بالاترین طول عمر مربوط به نور قرمز بود. اسپات‌های گل آنتوریوم فاقد کلروفیل بوده و هیچ فلورسانسی در سطح اسپات مشاهده نشد؛ اما دمگل عملکرد فتوسیستم II را نشان داد (Falahi et al., 2021).

با توجه به اینکه نور نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاه دارد، در پژوهش حاضر تاثیر طیف‌های مختلف نوری بر رشد و عملکرد فتوسنتزی چهار رقم حسن یوسف مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق روی گیاه حسن یوسف به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل رقم در چهار سطح ("رد"، "بلک دراگون"، "ولوت رد" و "ایمپروود") و شش تیمار کیفیت متفاوت نور شامل نور طبیعی گلخانه به‌عنوان شاهد، نور ال‌ای‌دی شامل ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۵ درصد نور آبی + ۸۵ درصد نور قرمز، ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز، ۱۵ درصد نور آبی + ۶۵ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید و ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید بودند. این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۹ در یک گلخانه تجاری واقع در شهرستان نجف آباد (استان اصفهان) انجام شد. بذره‌های نسل اول حسن یوسف در سینی کشت حاوی ۳۰ درصد پرلایت و ۷۰ درصد پیت‌ماس در گلخانه با دمای روز ۲۲ و دمای شب ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰-۶۵ درصد کشت شدند و پس از چهار ماه به گلدان ۱۲ حاوی ۶۰ درصد خاک برگ، ۳۰ درصد خاک لوم باغچه و ۱۰ درصد پرلیت انتقال داده شدند. در هر گلدان یک دانهدال کشت شد (همه دانهدال‌های یک اندازه انتخاب شدند) و هر گلدان به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. پس از

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر رقم، تیمارهای نوری و اثر متقابل آنها بر تعداد شاخه، ارتفاع گیاه، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (Φ_{E0}) و جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر رقم و تیمارهای نوری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۵ درصد بر قطر شاقه معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، رقم بر حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی (Φ_{D0}) تاثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۱). اثر تیمارهای نوری و اثر متقابل رقم و تیمارهای نوری در سطح احتمال یک درصد بر حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر رقم و اثر متقابل رقم و تیمارهای نوری در سطح احتمال یک درصد بر شاخص عملکرد (PI_{ABS}) معنی‌دار بود (جدول ۱).

بیشترین تعداد شاخه (۱۰/۶۶ عدد) در حسن یوسف رقم "رد" و تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید حاصل شد (شکل ۱a). در حالی‌که کمترین تعداد شاخه (۱/۳۳ و ۱ عدد) در رقم "ایمپروود" و تیمارهای ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۵ درصد آبی + ۸۵ درصد قرمز، ۳۰ درصد آبی + ۷۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به‌دست آمد (شکل ۱a). در رقم "ولوت رد" و "ایمپروود" بیشترین تعداد شاخه (به ترتیب ۶/۶۶ و ۵/۶۶ عدد) در تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید حاصل شد (شکل ۱a). در رقم "بلک دراگون" تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد شاخه نشان ندادند (شکل ۱a). بیشترین قطر ساقه در تیمار شاهد (۱۰/۶۶ میلی‌متر) حسن یوسف رقم "رد" و تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید (۹/۶۶ میلی‌متر) حاصل شد (شکل ۱b). در رقم "ولوت رد" بیشترین قطر ساقه (۸ میلی‌متر) در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۱b). در رقم "بلک دراگون" و "ایمپروود" تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری از نظر

فلورسانس کلروفیل) برای بررسی تفاوت بیوفیزیکی و پدیده شناسی مربوط به وضعیت فتوسیستم II با استفاده از دستگاه PAR-fluorPen FP 100-MAX در برگ‌های جوان توسعه یافته که حداقل ۲۰ دقیقه در تاریکی سازگار شده بودند، محاسبه شد. بعد از سازگاری در تاریکی، حداقل فلئورسانس وقتی تمامی مراکز واکنش فتوسیستم II، باز هستند در ۵۰ میکروثانیه (F_0)، شدت فلئورسانس در مرحله J در ۲ میلی‌ثانیه (F_J)، شدت فلئورسانس در مرحله I در زمان ۶۰ میلی‌ثانیه (F_I)، و حداکثر فلئورسانس وقتی تمام مراکز واکنش فتوسیستم II، بسته هستند بین ۳۰۰ میلی‌ثانیه تا یک ثانیه (F_M)، شدت فلئورسانس متغیر (F_V)، فلئورسانس متغیر نسبی در مرحله حد واسط J (V_J ؛ رابطه ۱)، فلئورسانس متغیر نسبی در مرحله حد واسط I (V_I ؛ رابطه ۲)، حداکثر فلئورسانس متغیر نسبی (F_M/F_0)، حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) یا (Φ_{P0} ؛ رابطه ۳)، میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC؛ رابطه ۴)، احتمال انتقال الکترون برانگیخته شده به آنسوی کوئینون A (ψ_o ؛ رابطه ۵)، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (Φ_{E0} ؛ رابطه ۶)، عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی (Φ_{D0} ؛ رابطه ۷) و شاخص عملکرد جذب انرژی (PI_{ABS} ؛ رابطه ۸) محاسبه شد. محاسبات با استفاده از نرم افزار PAR-Fluorpen ورژن ۱ انجام شد (Strasser *et al.*, 2000).

$$V_J = (F_J - F_0) / (F_M - F_0) \quad (1)$$

$$V_I = (F_I - F_0) / (F_M - F_0) \quad (2)$$

$$\Phi_{P0} = 1 - (F_0 / F_m) \text{ یا } Fv/Fm \quad (3)$$

$$ABS/RC = M_0 \cdot (1/V_J) \cdot (1/\Phi_{P0}) \quad (4)$$

$$M_0 = 4(F_{300} - F_0) / (F_M - F_0)$$

شدت فلورسانس در ۳۰۰ میکروثانیه: F_{300}

$$\psi_o = 1 - V_J \quad (5)$$

$$\Phi_{E0} = (1 - \frac{F_0}{F_m}) \cdot \psi_o \quad (6)$$

$$\Phi_{D0} = 1 - \Phi_{P0} \cdot \frac{F_0}{F_m} \quad (7)$$

$$PI_{ABS} = \frac{RC}{ABS} \times \frac{\Phi_{P0}}{1 - \Phi_{P0}} \times \frac{\psi_o}{1 - \psi_o} \quad (8)$$

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه گردید و میانگین‌ها با آزمون دانکن (Duncan) در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

قرمز با آبی در سطح فعالیت هورمون جیبرلین و ایجاد تغییر در ارتفاع گیاهان مؤثر می‌دانند (Ahmad & Cashmore, 1997). نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که پاسخ‌گویی ارقام نسبت به طیف نور (ساده یا ترکیبی) کاملاً متفاوت است برای نمونه در رقم "رد" با افزایش سطح نور آبی میزان ارتفاع کاهش یافته است، در صورتی که این الگو در مورد سایر ارقام صادق نیست. Rashidi et al. (2017) نیز بیان کردند که سطح حضور نور آبی نقش تعیین کننده در ویژگی‌های رویشی نشاهای اطلسی تحت تیمار داشت به گونه‌ای که افزایش میزان آن نسبت نوری ۳۰ درصد آبی: ۷۰ درصد قرمز) منجر به ضعیف‌تر شدن نتایج در صفات مورد بررسی شد.

تست‌های OJIP شامل اطلاعات ارزشمندی در مورد ساختار و عملکرد دستگاه فتوسنتز می‌باشند (Stirbet et al., 2018; Goltsev et al., 2016). در حقیقت، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، اطلاعات کاملی در مورد وضعیت عملکردی دستگاه فتوسنتز، به‌ویژه PSII ارائه می‌دهد. O-J نشان دهنده کاهش سمت پذیرنده PSII است (و همچنین اطلاعاتی در مورد اتصال بین واحدهای فتوسنتز PSII ارائه می‌دهد)، J-I با کاهش جزئی استخر پلاستوکوینون همراه است و I-P نشان‌دهنده کاهش از طرف پذیرنده PSI است (Yusuf et al., 2010, Ripoll et al., 2016).

بیشترین میزان حداکثر فلورسانس متغیر نسبی (F_v/F_m) II (F_m/F_0) (۵/۴۲) و حداکثر کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m) (۰/۸۱) در رقم "رد" و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی و ۷۰ درصد قرمز به‌دست آمد (شکل ۲-a, b). نتایج حاصله با Khazaee et al. (2021) روی نعنای مطابقت نشان داد.

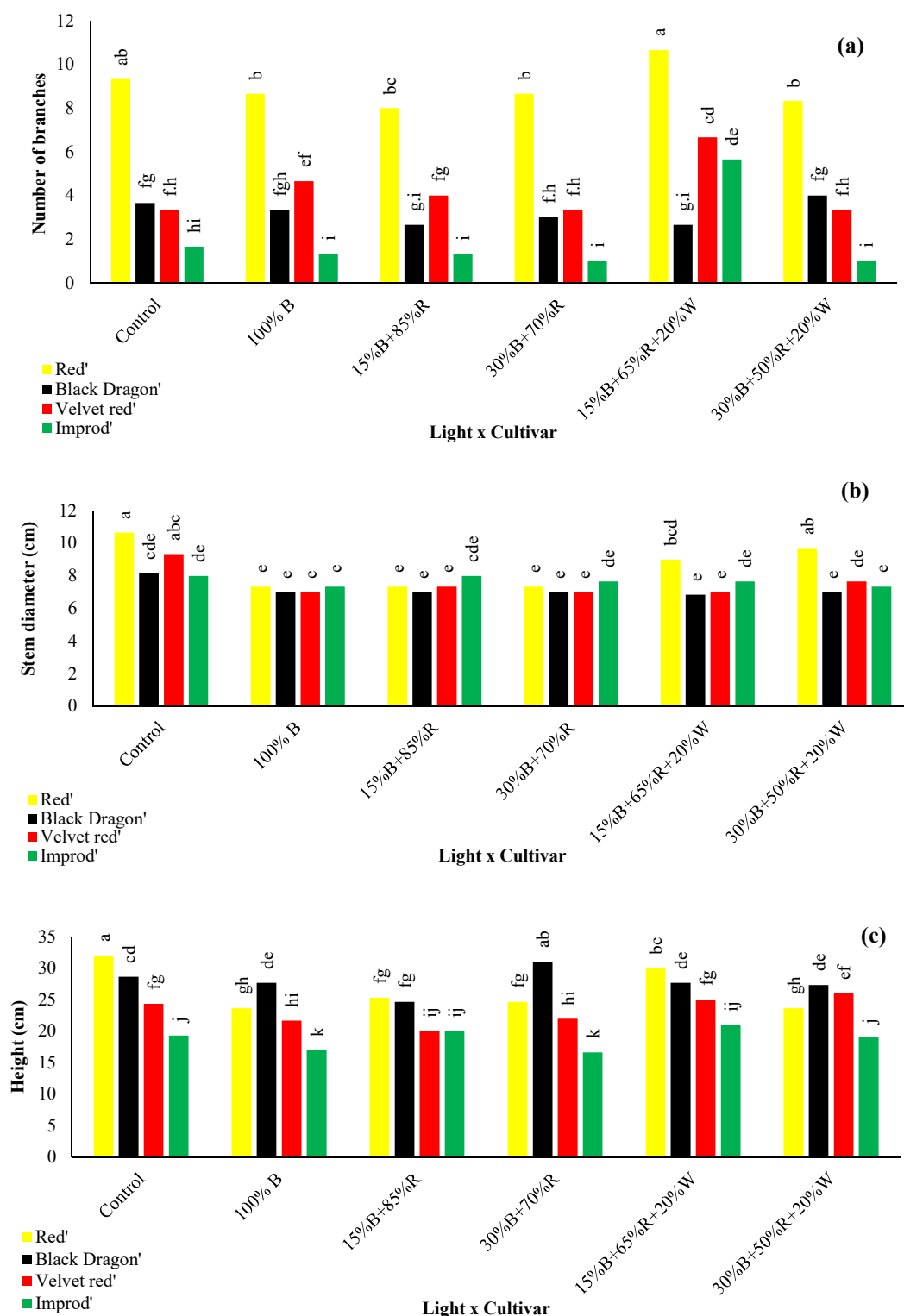
قطر ساقه نشان ندادند (شکل ۱b). بیشترین ارتفاع (۳۲ سانتی‌متر) در رقم "رد" و تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۱c). در حالی که کمترین ارتفاع (۱۷ و ۱۶/۶۶ سانتی‌متر) در رقم "ایمپروود" و تیمارهای ۱۰۰ درصد نور آبی و ۳۰ درصد آبی + ۷۰ درصد قرمز، به‌دست آمد (شکل ۱c). در رقم "بلک‌دراگون" بیشترین ارتفاع (۲۸/۶۶ سانتی‌متر) در شاهد حاصل شد (شکل ۱c). در رقم "ولوت رد" بیشترین ارتفاع (۲۶ سانتی‌متر) در تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید مشاهده شد (شکل ۱c).

نتایج Rashidi et al. (2017) نیز نشان داد که تیمار ترکیبی قرمز و آبی بیشترین اثر را در افزایش قطر و ارتفاع نشای اطلسی داشتند. با این وجود واکنش گیاهان مختلف در برابر کاربرد طیف‌های آبی و قرمز در محیط متفاوت از یکدیگر گزارش شده است (Randall & Lopez, 2014). نتایج این پژوهش اگرچه بیانگر تأثیر مثبت کاربرد نور آبی و قرمز به‌همراه سفید بر افزایش قطر ساقه در رقم "رد" بود، اما ارقام مختلف واکنش‌های متفاوتی نسبت به ترکیب نوری نشان دادند. فعالیت رنگدانه‌های کریپتوکروم به‌دلیل نقش آنان در تحریک و یا جلوگیری ساخت هورمون جیبرلین، در تنظیم ارتفاع هیپوکوتیل نقش مؤثر دارد (Ahmad et al., 2002). شدت نور آبی و مدت زمان حضور آن (Jeong et al., 2016; Fukuda et al., 2014) و همچنین حضور نور قرمز به‌دلیل تحریک فیتوکرومها (Folta & Spalding, 2001) در میزان عملکرد کریپتوکرومها مؤثر است. برخی از پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود سطح فعالیت کریتوکرومها و فیتوکرومها را به هم مربوط و همراهی نور

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و نور بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و راندمان کوانتومی آزمون OJIP برگ حسن‌یوسف.
Table 1. Results of variance analysis effect of cultivar and light on some morphological traits and quantum efficiency of OJIP of coleus.

Source of variation	d.f	Means of squares								
		Number of stem	Stem diameter	Height	F_v/F_m (Φ_{P70})	F_m/F_0	Φ_{D0}	Φ_{E0}	ABS/RC	$P_{L_{ABS}}$
Cultivar (a)	3	166.05**	5.49**	291.45**	0.008 ^{ns}	0.54*	0.008 ^{ns}	0.011**	1.08**	11.64**
Light (b)	5	10.14**	5.68**	30.31**	0.004**	1.44**	0.004**	0.004**	0.29**	3.95*
a × b	16	2.82**	1.32*	14.91**	0.003**	0.84**	0.003**	0.003**	0.11**	3.70**
Error	47	0.79	0.59	1.26	0.0005	0.19	0.0005	0.0009	0.03	1.17
C.V (%)	-	19.35	9.95	4.66	3.08	10.26	9.78	6.06	8.31	24.42

** , * and ns: Significant difference at the 1 and 5 % of probability levels and non-significantly difference, respectively.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و نور (Control: شاهد نور معمولی گلخانه، 100% B: ۱۰۰ درصد نور آبی، 15% B + 85% R: ۱۵ درصد نور آبی + ۸۵ درصد نور قرمز، 30% B + 70% R: ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز، 15% B + 65% R + 20% W: ۱۵ درصد نور آبی + ۶۵ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید و 30% B + 50% R + 20% W: ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید) بر (a). تعداد شاخه، (b). قطر ساقه و (c). ارتفاع حسن یوسف.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of cultivar and light (Control: Greenhouse light, 100% B (Blue), 15% B (Blue) + 85% R (Red), 30% B (Blue) + 70% R (Red), 15% B (Blue) + 65% R (Red) + 20% W (White) and 30% B (Blue) + 50% R (Red) + 20% W (White)) on (a). Number of branches, (b). Stem diameter and (c). Height of coleus.

سلول‌های نگهبان روزنه جدا شده از مزوفیل را نداشت (Mott, 2009). نور آبی می‌تواند باعث ورود پتاسیم به سلول‌های (نگهبان روزنه و خروج پروتون) با فعال‌سازی پمپ‌های پروتونی غشای پلاسمائی و در نتیجه باز شدن روزنه گردد (Mott, 2009).

"حداکثر بازده کوانتومی" فتوسینتسم II، به‌عنوان "حداکثر عملکرد کوانتومی" یا "عملکرد کوانتومی بالقوه"، که نسبت فلورسانس متغیر و حداکثر کلروفیل را توصیف می‌کند (Feyziyev, 2020). در اینجا، کاهش قابل توجهی در F_v/F_m و Φ_{P_0} و Φ_{E_0} در تیمار شاهد رقم "رد" مشاهده شد که نشانگر کاهش کارایی عملکرد کوانتومی فتوشیمی PSII است. گیاهان در شرایط تنش، راندمان عملکرد کوانتومی موثر PSII، سرعت انتقال الکترون و بازده کوانتومی یا نسبت شار را کاهش می‌دهند (Solomon, 1999). گیاهان پرورش‌یافته تحت نور آبی مقدار کلروفیل پائین‌تری نسبت به گیاهان پرورش‌یافته تحت نور ترکیبی دارند و در نتیجه فتوسنتز و رشد آنها نیز کمتر است (Hogewoning *et al.*, 2010). یکی از دلایل کاهش فتوسنتز در اثر نور آبی ممکن است افزایش اتلاف انرژی نورانی به صورت گرما و حفاظت حاصله به علت فعال شدن فرونشاندن غیرفتوشیمیائی در گیاه باشد. در مطالعات دیگر نیز افزایش فرونشاندن غیرفتوشیمیائی در اثر نور آبی گزارش گردیده است (Allen *et al.*, 2008).

تست OJIP به عنوان پروکسی برای شناسایی انرژی‌های زیستی PSII نشان داده شده است و نشان دهنده تغییر در وضعیت و عملکرد مراکز واکنش PSII، آنتن و همچنین در دو طرف دهنده و پذیرنده PSII است. در پژوهش حاضر مشخص شد که زنجیره انتقال الکترون (ETC) به‌طور مناسب در گیاهانی که تحت شرایط کنترل رشد می‌کنند، کار می‌کند.

بیشترین عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (Φ_{E_0}) (۰/۵۶) در رقم "بلک دراگون" و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به‌دست آمد که نشان‌دهنده کارایی مطلوب فتوسنتز در این تیمار می‌باشد (شکل ۳a). کمترین مقدار Φ_{E_0} (۰/۴۲) در رقم "رد" و تیمار شاهد و "ایمپروود" در تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید مشاهده

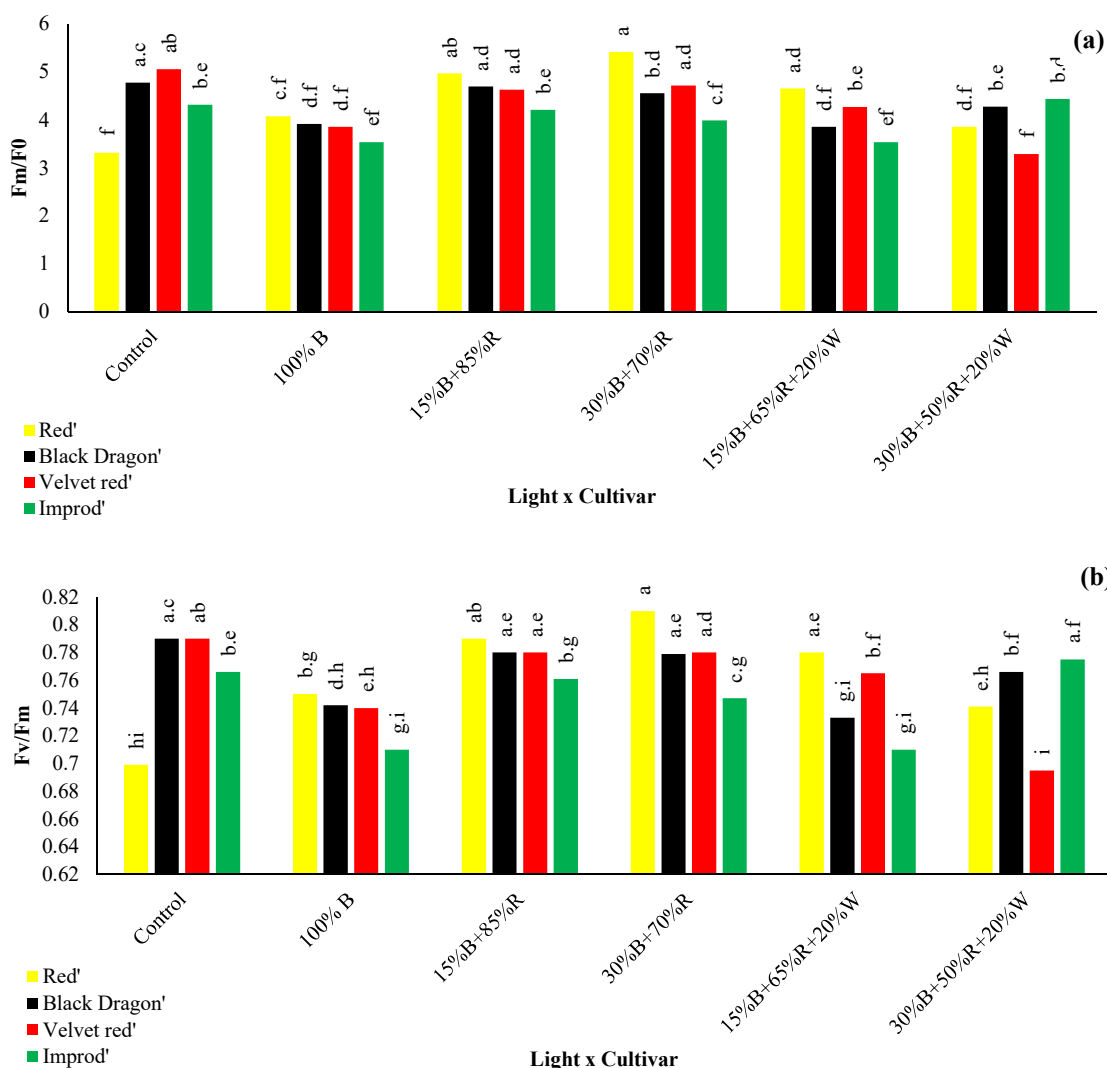
کمترین مقدار F_m/F_0 در تیمار شاهد رقم "رد" (۳/۳۲) و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید در رقم "ولوت رد" (۳/۲۹) و کمترین مقدار F_v/F_m (۰/۶۹) در رقم "ولوت رد" و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید مشاهده شد (شکل ۲a, b). در رقم "بلک دراگون" و "ولوت رد" بالاترین مقادیر F_m/F_0 و F_v/F_m در شاهد حاصل شد (شکل ۲a, b). در رقم "ایمپروود" نیز بیشترین مقدار F_m/F_0 و F_v/F_m در تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به‌دست آمد (شکل ۲a, b).

مقدار F_m/F_0 در شاهد رقم "رد"، ۱۰۰ درصد آبی و تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید در رقم "ایمپروود" و "بلک دراگون" و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید در رقم "ولوت رد" کاهش یافت. این کاهش می‌تواند به آسیب رساندن به مراکز واکنش و افزایش تعداد مراکز واکنش غیرفعال مربوط باشد که منجر به افزایش فلورسانس و همچنین کاهش انتقال انرژی تحریک شده از مجموعه آنتن به سمت مراکز واکنش باشد (Kalaji *et al.*, 2016; Aliniaiefard *et al.*, 2018).

در شرایط ایده‌آل و بدون تنش اضافی، استخر PSII کل می‌تواند بدون بازدارندگی نوری قابل تشخیص کاملاً غیرفعال شده و بازیابی شود (Aliniaiefard *et al.*, 2018). در صورتی که گیاهان تحت تنش‌هایی مانند کمبود آب قرار گیرند، ممکن است جمعیت زیادی از سلول‌های غیر فعال PSII در داخل پشته‌های تیلاکوئید جمع شوند و باعث اتلاف انرژی نور تحت شرایط بازدارندگی نوری شوند (Bayat *et al.*, 2018). صدمه به غشای تیلاکوئید و غیرفعال سازی مراکز واکنش PSII انتقال انرژی بالادست PSII را محدود می‌کند (Rapacz *et al.*, 2015). ثابت شده است که اثر نور آبی بر باز کردن روزنه‌ها وابسته به مزوفیل نمی‌باشد و این نور قابلیت این را دارد که به‌طور مستقیم باعث متورم شدن سلول‌های نگهبان روزنه و در نتیجه باز شدن آنها شود. این نتایج توسط آزمایشات انجام گرفته روی سلول‌های نگهبان روزنه جدا شده از مزوفیل که در معرض نور آبی قرار گرفتند، به‌دست آمد. نور قرمز قابلیت متورم نمودن

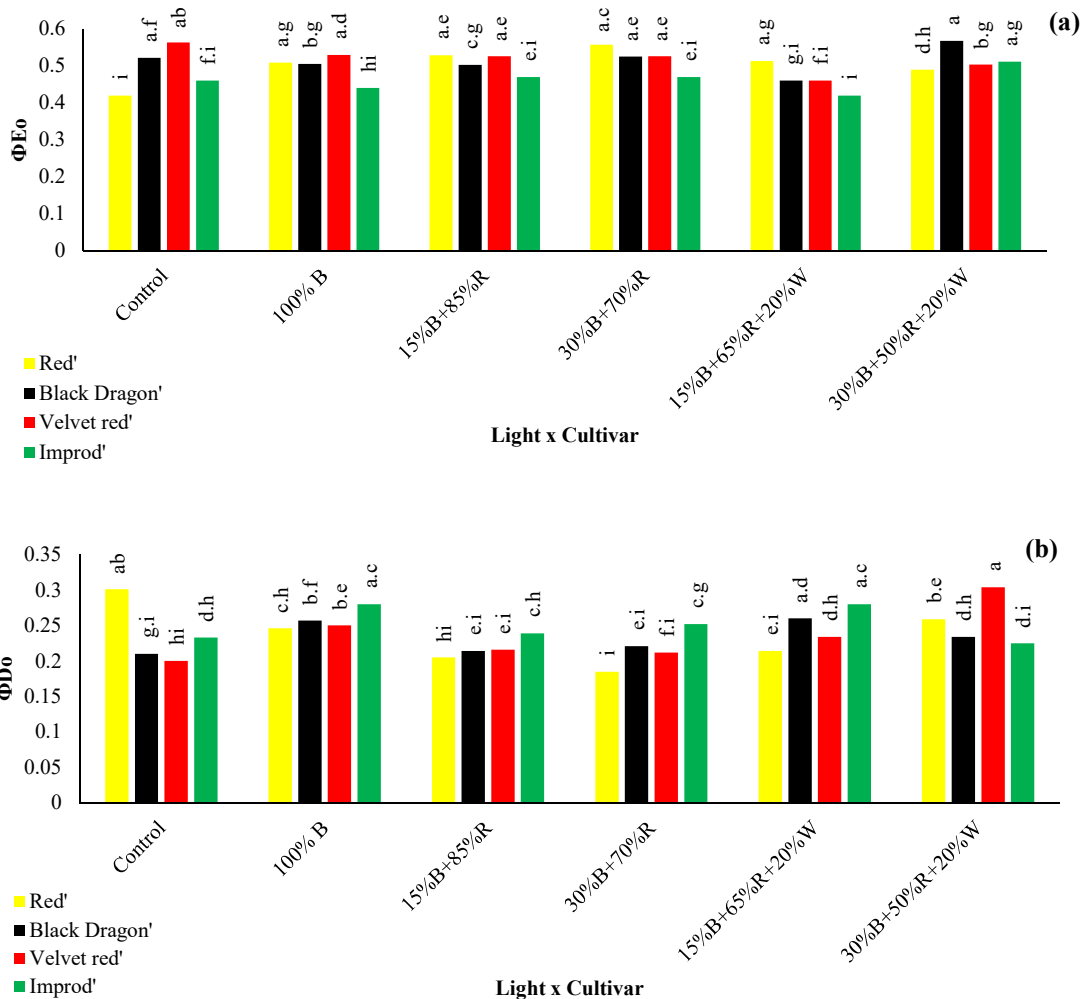
می‌باشد، نشان می‌دهد که یک اکسیتون به دام افتاده می‌تواند الکترون را به زنجیره انتقال الکترون منتقل کند (Arslan *et al.*, 2020). نشان داده شده است که در شرایط تنش خشکی میزان Φ_{E0} در گیاه *Chenopodium quinoa* (Manaa *et al.*, 2021) و لاین‌های اینبرد آفتابگردان (Arslan *et al.*, 2020) کاهش یافت. به‌دام افتادن الکترون منجر به حرکت الکترون فراتر از QA شده و باعث ورود به زنجیره انتقال الکترون می‌گردد.

شد (شکل ۳a). در رقم "ولوت رد" بالاترین میزان Φ_{E0} در شاهد حاصل شد (۰/۵۶) (شکل ۳a). در رقم "ایمپروود" نیز بیشترین مقدار Φ_{E0} (۰/۵۱) در تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به‌دست آمد (شکل ۳a). در رقم "رد" بیشترین میزان Φ_{E0} در تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۷۰ درصد قرمز مشاهده شد (شکل ۳a). مقدار Φ_{E0} که بیانگر بازده عملکرد کوانتومی



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و نور (Control: شاهد نور معمولی گلخانه، ۱۰۰٪ B: ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۵٪ B + ۸۵٪ R: ۱۵ درصد نور آبی + ۸۵ درصد نور قرمز، ۳۰٪ B + ۷۰٪ R: ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز، ۱۵٪ B + ۶۵٪ R + ۲۰٪ W: ۱۵ درصد نور آبی + ۶۵ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید و ۳۰٪ B + ۵۰٪ R + ۲۰٪ W: ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید) بر حداکثر فلورسانس متغیر نسبی (Fm/F0) و حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) در حسن یوسف.

Figure 2. Mean comparison interaction effect of cultivar and light (Control: Greenhouse light, 100% B (Blue), 15% B (Blue) + 85% R (Red), 30% B (Blue) + 70% R (Red), 15% B (Blue) + 65% R (Red) + 20% W (White) and 30% B (Blue) + 50% R (Red) + 20% W (White)) on a. Relative maximal variable fluorescence (F_m/F₀), b. Maximum quantum yield of photosystem II (F_v/F_m) of coleus.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و نور (Control: شاهد نور معمولی گلخانه، 100% B: ۱۰۰ درصد نور آبی، 15% B + 85% R: ۱۵ درصد نور آبی + ۸۵ درصد نور قرمز، 30% B + 70% R: ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز، 15% B + 65% R + 20% W: ۱۵ درصد نور آبی + ۶۵ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید و 30% B + 50% R + 20% W: ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید) بر Φ_{E0} و Φ_{D0} عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی (Φ_{D0}) حسن یوسف.

Figure 3. Mean comparison interaction effect of cultivar and light (Control: Greenhouse light, 100% B (Blue), 15% B (Blue) + 85% R (Red), 30% B (Blue) + 70% R (Red), 15% B (Blue) + 65% R (Red) + 20% W (White) and 30% B (Blue) + 50% R (Red) + 20% W (White)) on (a). Quantum yield of electron transport (Φ_{E0}) (b). quantum yield of energy dissipation of coleus (Φ_{D0}).

رقم "رد" بالاترین میزان Φ_{D0} (۰/۳۰۱) در شاهد حاصل شد (شکل ۳b). در رقم "بلک دراگون" نیز بیشترین مقدار Φ_{D0} (۰/۲۶) در تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به دست آمد (شکل ۳b). در رقم "ایمپروود" بیشترین میزان Φ_{D0} (۰/۲۸) در تیمار ۱۰۰ درصد آبی و ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید مشاهده شد (شکل ۳b). در برگ‌های اسفناج رشد یافته تحت شرایط نور ترکیبی قرمز (۹۰ درصد) و آبی (۱۰ درصد)

بیشترین عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی (Φ_{D0}) (۰/۳۰۴) در رقم "ولوت رد" و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به دست آمد (شکل ۳b). کمترین مقدار Φ_{D0} (۰/۱۸) در رقم "رد" و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۷۰ درصد قرمز حاصل شد که نشان‌دهنده کارایی مطلوب فتوسنتز می‌باشد (شکل ۳b). در پژوهشی روی خیار مشخص شد که میزان کارایی فتوسنتز در نور آبی و قرمز افزایش یافته است (Wang and Kaufman, 2016). در

دانست (Çiçek et al., 2019). نشان داده شده است که وجود هر دو نور قرمز و آبی برای افزایش مقدار فتوسنتز خالص ضروری می‌باشند و این در صورتی است که مقدار نور قرمز حداقل ۷۰ درصد کل شدت تابش نهائی باشد (Savvides et al., 2012).

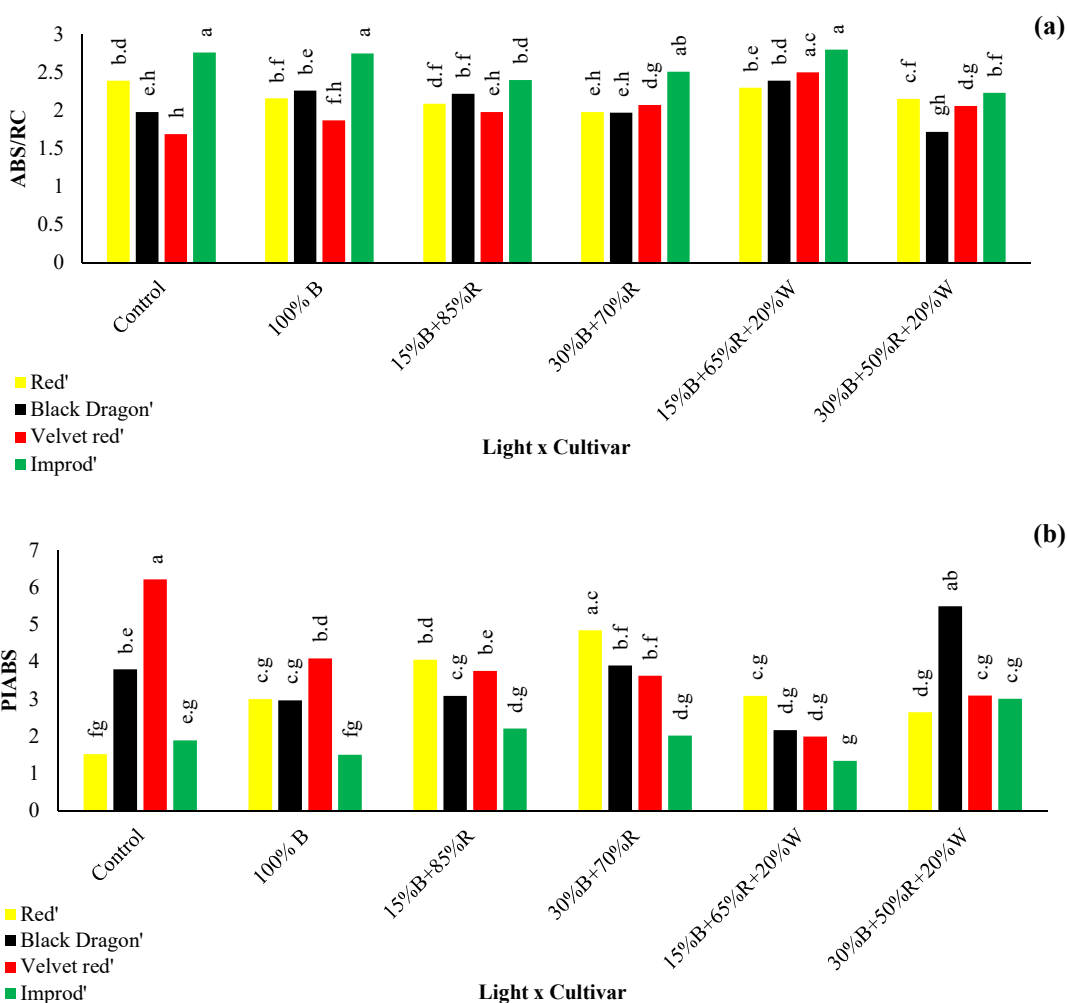
PI_{ABS} بیان کلی جذب انرژی، به دام انداختن و تبدیل آن به مراحل انتقال الکترون است. حساسیت PI_{ABS} ممکن است به عنوان یک نشانگر برای غربالگری ارقام در برابر طیف‌های نوری استفاده شود. بیشترین شاخص عملکرد (PI_{ABS}) (۶/۲۲) در رقم "ولوت رد" و تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۴b). کمترین شاخص عملکرد (۱/۳۴) در رقم "ایمپروود" و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید مشاهده شد (شکل ۴b). در رقم "رد" بالاترین میزان PI_{ABS} (۴/۸۵) در تیمار ۳۰ درصد آبی + ۷۰ درصد قرمز حاصل شد (شکل ۴b). در رقم "بلک دراگون" و "ایمپروود" نیز بیشترین شاخص عملکرد (به ترتیب ۵/۵ و ۳/۰۱) در تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به دست آمد (شکل ۴b).

PI_{ABS} نسبت به تغییر غلظت مراکز واکنش، فتوشیمی اولیه و انتقال الکترون حساس است. تغییرات در جذب و به دام انداختن انرژی در نتیجه قرار گرفتن در معرض شدت نور کم می‌تواند بر PI_{ABS} تأثیر منفی بگذارد. کاهش PI_{ABS} عمدتاً ناشی از کاهش کارایی فتوشیمیایی یا انتقال الکترون فتوسنتز در شدت نور کم است. این نشان می‌دهد که ساختار سیستم، فعالیت بالقوه PSII، بازدارندگی نوری فتوسنتز و عملکرد PSII ممکن است تحت شدت نور کم آسیب ببیند یا نتواند کاملاً بالغ شود (Appenroth et al., 2003; Meng et al., 2007; Oukarroum et al., 2016). کاهش میزان PI_{ABS} ممکن است به دلیل جذب بیشتر انرژی نورانی (ABS/RC)، شار انرژی اتلاف شده (DI_0/RC) و انتقال الکترون کمتر (ET_0/RC) در هر مرکز واکنش باشد که در نتیجه منجر به کاهش عملکرد کوانتومی فوتون‌های جذب شده می‌گردد (Appenroth et al., 2003; Oukarroum et al., 2007). از نظر کلی جریان ABS/RC به TR_0/RC ، ET_0/RC و DI_0/RC تقسیم

نسبت به گیاهانی که فقط در معرض نور قرمز قرار گرفته بودند ظرفیت فتوسنتزی بالاتری به دست آمد (Matsuda et al., 2008). شار انرژی ویژه در هر مرکز واکنش (RC) که توسط میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC)، گرفتن الکترون به ازای هر مرکز واکنش ($TR_0/RC = M_0 \cdot (1/VJ)$) و انرژی اتلاف شده به ازای هر مرکز واکنش (DI_0/RC) اندازه‌گیری می‌شود بر اساس خروجی الفای سریع فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شد. پارامتر ABS/RC اندازه آنتن موثر مرکز واکنش فعال را تعریف می‌کند. افزایش قابل توجه ABS/RC کاهش اندازه آنتن را نشان می‌دهد و می‌تواند ناشی از غیرفعال سازی PSII و انتقال انرژی تحریک شده از PSII غیرفعال به واحدهای PSII فعال باشد (Öz et al., 2014). تیمار رقم "ایمپروود" با ۱۰۰ درصد نور آبی، ترکیبی از ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید و شاهد منجر به بیشترین میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC) شد (شکل ۴a). کمترین ABS/RC (۱/۶۹) در رقم "ولوت رد" و تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۴a). در رقم "رد" بالاترین میزان ABS/RC (۲/۳۹) در شاهد حاصل شد (شکل ۴a). در رقم "بلک دراگون" و "ولوت رد" نیز بیشترین ABS/RC (به ترتیب ۲/۳۹ و ۲/۵۰) در تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به دست آمد (شکل ۴a). به خوبی مستند شده است که افزایش ABS/RC ممکن است ناشی از افزایش ABS یا کاهش RC باشد. از آنجا که افزایش واقعی ABS غیر محتمل است، احتمالاً کاهش RC فعال اتفاق می‌افتد (یعنی افزایش RC غیرفعال). از دلایل افزایش ABS/RC تخریب کلروفیل از طریق پیری زودرس برگ ناشی از تنش (Boureima et al. 2012) و گروه‌بندی مجدد آنتن از مراکز واکنش غیرفعال PSII به فعال می‌باشد (Kalaji et al., 2016). از این رو، افزایش ABS/RC در تیمار با ۱۰۰ درصد نور آبی ("ایمپروود")، ترکیبی از ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید (ارقام "ایمپروود"، "بلک دراگون" و "ولوت رد") و شاهد ("رد" و "ایمپروود") را می‌توان مربوط به کاهش اندازه موثر آنتن و همچنین غیرفعال سازی PSII

ارقام "بلک دراگون" و "ایمپروود" می‌باشد که باعث کاهش نیروی محرک در هر مرکز واکنش می‌شود و آن انرژی را بیشتر به سمت فتوسیستم I هدایت می‌کند. از آنجا که PI_{ABS} می‌تواند به عنوان شاخص زندگی PSII استفاده شود، این نتایج حاکی از آن است که تیمارهای شاهد ("ولوت رد"، ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز ("رد"، ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید (ارقام "بلک دراگون" و "ایمپروود"، تیمارهای مناسبی برای پشتیبانی از عملکرد طبیعی فتوستنز می‌باشند.

می‌شود و شار ABS به DI و TR تبدیل می‌شود. میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش ABS/RC، در تیمارهای شاهد ("ولوت رد"، ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز ("رد"، ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید (ارقام "بلک دراگون" و "ایمپروود" کاهش یافت (شکل a, b). این نشان دهنده عملکرد کارآمد سیستم انتقال الکترون تحت تیمارهای شاهد ("ولوت رد"، ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز ("رد"، ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و نور (Control: شاهد نور معمولی گلخانه، 100% B: ۱۰۰ درصد نور آبی، 15% B + 85% R: ۱۵ درصد نور آبی + ۸۵ درصد نور قرمز، 30% B + 70% R: ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز، 15% B + 65% R + 20% W: ۱۵ درصد نور آبی + ۶۵ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید و 30% B + 50% R + 20% W: ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید) بر a. جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC) و b. شاخص عملکرد PI_{ABS} حسن یوسف.

Figure 4. Mean comparison interaction effect of cultivar and light (Control: Greenhouse light, 100% B (Blue), 15% B (Blue) + 85% R (Red), 30% B (Blue) + 70% R (Red), 15% B (Blue) + 65% R (Red) + 20% W (White) and 30% B (Blue) + 50% R (Red) + 20% W (White)) on (a). Absorption flux per reaction center (ABS/RC) (b). Performance index (PI_{ABS}) of coleus

"رد" و تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید به دست آمد. بیشترین ارتفاع (۳۲ سانتی‌متر) در ارقام "رد" و "بلک دراگون" در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان شاخص حداکثر کارایی کوانتومی فتوسینتزم II و حداکثر فلورسانس متغیر نسبی (F_M/F_0) در تیمارهای ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۷۰ درصد قرمز (رقم "رد")، شاهد (ارقام "بلک دراگون" و "ولوت رد") و تیمار ترکیبی ۳۰ درصد آبی + ۵۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید (رقم "ایمپروود") به دست آمد. میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC) در رقم "ایمپروود" با ۱۰۰ درصد نور آبی، ترکیبی از ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید و شاهد بیشتر از سایر تیمارها بود. از آنجا که PI_{ABS} می‌تواند به عنوان شاخص زندگی PSII استفاده شود، نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از آن است که تیمارهای شاهد ("ولوت رد")، ۳۰ درصد نور آبی + ۷۰ درصد نور قرمز ("رد")، ۳۰ درصد نور آبی + ۵۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور سفید (ارقام "بلک دراگون" و "ایمپروود")، تیمارهای مناسبی برای پشتیبانی از عملکرد طبیعی فتوسنتز می‌باشند.

فیتوکرومها با جذب نور قرمز باعث بیان mRNA مربوط به پروتئین‌های کلروفیل برداشت‌کننده نور می‌گردند (Apel & Kloppstech, 1980). نور قرمز و نور سفید با اثر بر روی پیش‌ماده‌های تولید کلروفیل شامل 5-آمینولئونیک (ALA)، پرتوکلروفیلید، پرتوپروفرین IX و پرتوپروفرین منیزیم IX باعث افزایش بیوسنتز کلروفیل می‌گردند (Fan et al., 2013). کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها با حضور در مجموعه برداشت‌کننده نور، نقش بسیار مهمی در کارایی فتوسنتز، جذب و انتقال الکترون دارند (Biswal et al., 2012).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت نور در پرورش گیاهان آپارتمانی خصوصا حسن یوسف و تاثیر طیف مناسب نور در بهبود کارایی عملکرد فتوسنتز و وضعیت برگ‌ها، ارزیابی کارایی فتوسنتز با استفاده از آزمون OJIP روش مناسبی می‌باشد. بیشترین تعداد شاخه در حسن یوسف ارقام "رد"، "ولوت رد" و "ایمپروود" و در تیمار ترکیبی ۱۵ درصد آبی + ۶۵ درصد قرمز + ۲۰ درصد سفید حاصل شد. بیشترین قطر ساقه در تیمار شاهد حسن یوسف رقم

REFERENCES

- Ahmad, M., & Cashmore, A.R. (1997). The blue-light receptor cryptochrome 1 shows functional dependence on phytochrome A of phytochrome B in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 11, 421-427.
- Ahmad, M., Grancher, N., Heil, M., Black, R. C., Giovani, B., Galland, P., & Lardemer, D. (2002). Action spectrum for cryptochrome-dependent hypocotyl growth inhibition in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 129, 774-785.
- Aliniaiefard, S., Seif, M., Arab, M., Zare Mehrjerdi, M., Li, T., & Lastochkina, O. (2018). Growth and photosynthetic performance of *Calendula officinalis* under monochromatic red light. *International Journal of Horticultural Science*, 5, 123-132.
- Allen, J., Gantt, E., Golbeck, J., Osmond, B., Abasova, L., Boulay, C., Vass, I., & Kirilovsky, D. (2008) Non-photochemical-quenching mechanisms in the Cyanobacterium *Thermosynechococcus elongatus*. In: Allen, J.F., Gantt, E., Golbeck, J.H., Osmond, B. (eds) *Photosynthesis. Energy from the Sun*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6709-9_216
- Anonymous. (2017). Gulf Coast Research and Education Center Plant City Teaching Garden. University of Florida. IFAS Extension. Available at <http://grec.ifas.ufl.edu/GCREC-Garden/docs/pdf/Coleus.pdf> (visited 10 July 2018).
- Apel, K., & Kloppstech, K. (1980) The effect of light on the biosynthesis of the light-harvesting chlorophyll a/b protein. *Planta*, 150, 426-430.
- Appenroth, K.J., Keresztes, A., Sarvari, E., Jaglarz, A., & Fischer, W. (2003). Multiple effects of chromate on *Spirodela polyrhiza*: electron microscopy and biochemical investigations. *Plant Biology*, 5 (3), 315-323.
- Aalifar, M., Aliniaiefard, S., Arab, M., Mehrjerdi, M. Z., & Serek, M. (2020). Blue light postpones senescence of carnation flowers through regulation of ethylene and abscisic acid pathway-related genes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 151, 103-112.

9. Arslan, Ö., Nalçaiyi, A. B., Erdal, Ş. Ç., Pekcan, V., Kaya, Y., Çicek, N., & Ekmekci, Y. (2020). Analysis of drought response of sunflower inbred lines by chlorophyll a fluorescence induction kinetics. *Photosynthetica*, 58, 163-172.
10. Bayat, L., Arab, M., Aliniaefard, S., Seif, M., Lastochkina, O., & Li, T. (2018). Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. *AoB Plants*, 10(5), Ply052. <https://doi.org/10.1093/aobpla/ply052>
11. Biswal, A.K., Pattanayak, G.K., Pandey, S.S., Leelavathi, S., Reddy, V.S., & Tripathy, B.C. (2012). Light intensitydependent modulation of chlorophyll b biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide a oxygenase in tobacco. *Plant Physiology*, 159, 433-449.
12. Boureima, S., Oukarroum, A., Diouf, M., Cisse, N., & Van Damme, P. (2012). Screening for drought tolerance in mutant germplasm of sesame (*Sesamum indicum*) probing by chlorophyll a fluorescence. *Environmental and Experimental Botany*, 81, 37-43.
13. Britz, S.J., & Sager, J.C. (1990). Photomorphogenesis and photoassimilation in soybean and sorghum grown under broad spectrum or blue-deficient light sources. *Plant Physiology*, 94, 448-454.
14. Çicek, N., Pekcan, V., Arslan, Ö., Erdal, Ş.Ç., Nalçaiyi, A.S.B., Çil, A.N., Şahin, V., Kaya, Y., & Ekmekçi, Y. (2019). Assessing drought tolerance in field-grown sunflower hybrids by chlorophyll fluorescence kinetics. *Brazilian Journal of Botany*, 42, 249-260.
15. Dehkhodaei, P., Reezi, S., & Ghasemei Ghehsareh, M. (2019). The effect of the light-emitting diode spectrum compared to the greenhouse natural light on the quality of *Solenostemon escutellarioides* 'Wizard Scarlet' and *Petunia × hybrida* 'Scarlet Eye' Transplant. *Journal of Horticultural Science*, 33(3), 537-548.
16. Desimone, S., Oka, Y., & Inoue, Y. (2000). Effect of light on root hair formation in *Arabidopsis thaliana* phytochrome-deficient mutants. *Journal of Plant Research*, 113, 63-69.
17. Falahi, Z., Aliniaefard, S., Arab, M., & Dianati deylami, S. (2021). Effects of light spectra on quality, morphology and photosynthesis characteristics of anthurium (*Anthurium andraeanum*) cut flower under cold storage condition. *Journal of Horticultural Science*, 35(1), 13-24. doi: 10.22067/jhs.2021.60521.0
18. Fan, X., Zang, J., Xu, Z., Guo, S., Jiao, X., Liu, X., & Gao, Y. (2013). Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 2721-2726.
19. Feyziyev, Y.M. (2020). Chlorophyll fluorescence and "maximum quantum efficiency" of photosystem II in plant sciences. *Life Science and Biomedicine*, 74, 18-28.
20. Folta, K. M., & Spalding, E. P. (2001). Opposing roles of phytochrome A and phytochrome B in early cryptochrome-mediated growth inhibition. *The Plant Journal*, 28, 333-340.
21. Franklin, K. A., & Whitelam, G. C. (2005). Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Annals of Botany*, 96, 169-175.
22. Fukuda, N., Ajima, C., Yukawa, T., & Olsen, J. (2016). Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 102-111.
23. Goltsev V.N., Kalaji H.M., Paunov, M., Bába, W., Horaczek, T., Mojski, J., Kociel, H., & Allakhverdiev, S.I. (2016). Variable chlorophyll fluorescence and its use for assessing physiological condition of plant photosynthetic apparatus. *Russian Journal of Plant Physiology*, 63 (6), 869-893.
24. Hogewoning, S.W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010) Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, 61, 3107-3117.
25. Jeong, S.W., Hogewoning, S.H., & Ieperen, W.V. (2014). Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 165, 69-74.
26. Kalaji, H.M., Jajoo, A., Oukarroum, A., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I.A., Cetner, M.D., Łukasik, I., Goltsev, V., & Ladle, R.J. (2016). Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 102.
27. Khazaei, M., Rafiei, F., Sabzalian, M., Houshmand, S. (2021). Effect of light emitting diodes irradiation on morpho-physiological traits of three *Mentha* Spp.. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 461-471. doi: 10.22059/ijhs.2020.298413.1771. (In Farsi).
28. Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Essemine, J., & Barbato, R. (2021). Photosynthetic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) after exposure to a gradual drought stress followed by a recovery period. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1862(5), 148383.
29. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2008) Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant Cell Physiology*, 49, 664-670.

30. Meng, L.L., Song, J.F., Wen, J., Zhang, J., & Wei, J.H.J.P. (2016). Effects of drought stress on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Plectranthus scutellarioides*. *Photosynthetica*, 54, 414-421
31. Molas, M. L., Kiss, J.Z., & Correll, M.J. (2006). Gene profiling of the red-light signaling pathways in roots. *Journal of Experimental Botany*, 57(12), 3217-3229.
32. Mott K.A. (2009). Opinion: Stomatal responses to light and CO₂ depend on the mesophyll. *Plant Cell & Environment*, 32, 1479-1486.
33. Nhut, D.T., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K., & Tanaka, M. (2003). Responses of strawberry plantlets cultured *in vitro* under super bright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 73, 43-52.
34. Oukarroum, A., El Madidi, S., Schansker, G., & Strasser, R.J. (2007). Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OJIP under drought stress and re-watering. *Environmental and Experimental Botany*, 60, 438-446
35. Öz, M.T., Turan, Ö., Kayihan, C. Eyidoğan, F., Ekmekçi, Y., Yücel, M., & Öktem, H.A. (2014). Evaluation of photosynthetic performance of wheat cultivars exposed to boron toxicity by the JIP fluorescence test. *Photosynthetica*, 52, 555-563, 2014.
36. Randall, W.C., & Lopez, R G. (2014). Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. *HortScience*, 49(5), 589-595.
37. Rapacz, M., Sasal, M., Kalaji, H.M., & Kościelniak, J. (2015). Is the OJIP test a reliable indicator of winter hardiness and freezing tolerance of common wheat and triticale under variable winter environments? *PLoS one*, 10, e0134820.
38. Rashidi, A., Tehranifar, A., & Nemati, H. (2017). The effect of blue and red spectrum combinations and light intensity on vegetative growth of petunia seedling. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(2), 443-446. (In Farsi).
39. Ripoll, J., Bertin, N., Bidet, L.P.R., & Urban, L. (2016). A user's view of the parameters derived from the induction curves of maximal chlorophyll a fluorescence: Perspectives for analyzing stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1679.
40. Savvides, A., Fanourakis, D., & van Ieperen, W. (2012) Co-ordination of hydraulic and stomatal conductance's across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1135-1143.
41. Seif, M., Aliniaefard, S., Arab, M., Mehrjerdi, M. Z., Shomali, A., Fanourakis, D., Tao, L., & Woltering, E. (2021). Monochromatic red light during plant growth decreases the size and improves the functionality of stomata in chrysanthemum. *Functional Plant Biology*, 48(5), 515-528.
42. Solomon, N. (1999). *The Noni Phenomenon*. (No. 615.321 S688n). Utah, USA: Direct Source Publishing, 43-47
43. Stirbet, A., Lazár, D., & Kromdijk, J. (2018). Govindjee: Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? – *Photosynthetica*, 56, 86-104.
44. Strasser, R.J., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*, 25, 445-483.
45. Surducan, V., Lung, I., & Surducan, E. (2009). The effect of coloured light on *Ipomoea purpurea* growth. National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies, In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, August 2009. 182, 65-103.
46. Wang, M., & Kaufman, R.J. (2016). Protein misfolding in the endoplasmic reticulum as a conduit to human disease. *Nature* 529, 326.
47. Yusuf, M.A., Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., & Sarin, N.B. (2010). Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: physiological and chlorophyll a fluorescence measurement. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1797(8), 1428-1438.